

ВІДГУК

Офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента
Синявського Олександра Юрійовича на дисертаційну роботу
Гаврилюка Сергія Івановича на тему «Системи автоматичного керування
безредукторними асинхронними електроприводами з аеродинамічним
навантаженням» подану в спеціалізовану вчену раду Д 26.187.01 Інституту
електродинаміки НАН України на здобуття наукового ступеня кандидата технічних
наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

1. Актуальність теми досліджень

До систем автоматичного керування електроприводом антенного поста навігаційних суднових РЛС ставиться вимога забезпечити максимальну швидкодію відпрацювання задання частоти обертання при переході від неробочого до робочого сектора; відхилення від заданого значення частоти обертання в робочому секторі при дії дестабілізуючих факторів не гірше $\pm 1\%$; необхідний рівень динамічної точності відпрацювання задання частоти обертання та надійності роботи.

Дослідження Гаврилюка С.І., викладені в представленій дисертації, присвячені дослідженню безредукторних електроприводів з використанням дугостаторних асинхронних двигунів.

Використання безредукторних електроприводів для антенних постів суднових навігаційних РЛС дозволило позбутися люфтів та пружностей, і, завдяки цьому, покращити показники якості регулювання робочого органу РЛС. Але нині мало уваги приділено розробці систем автоматичного керування безредукторними електроприводами, які усунули б недоліки, притаманні цим електроприводам, а за якістю керування дозволили наблизитися до частотних електроприводів з асинхронними електродвигунами.

У дисертації для розширення діапазону регулювання швидкості робочого органу антенних постів запропоновано застосовувати електромеханічний диференціал, а для підвищення динамічної точності відпрацювання керуючої дії – двоканальні слідкуючі системи, замкнені за швидкістю.

Створення систем автоматичного керування безредукторними електроприводами з аеродинамічним навантаженням, що змінюється стохастично, з розширеним діапазоном регулювання швидкості та з покращеними динамічними показниками якості керування є актуальним науковим завданням.

Задачі, вирішення яких представлено у дисертації, є частиною науково-дослідної тематики Інституті електродинаміки НАН України відповідно до планів досліджень НАН України в рамках наступних науково-дослідних робіт: «Визначити принципи побудови гібридних систем керування з нечіткою логікою та створити засоби і алгоритми керування регуляторами напруги, струму, частоти з покращеними характеристиками для систем електротехнологічної обробки матеріалів» («База-П7» 6541030, 1.01.2016 – 31.12.2018); «Розвиток теорії, розроблення методів інтелектуалізації технологічних процесів та засобів керування, моніторингу, діагностування і вимірювання в електроенергетичних та електротехнічних системах» ("ІНТЕХЕН-2", 0120U002125, 1.01.2020 – 30.12.2020). «Розробити засоби регулювання напруги, струму і частоти для електротехнологій та

систем безредукторних електроприводів із застосуванням методів інтелектуального керування» («База-П8», 6541030 1.01.2019 – 31.12.2021) і їх актуальність не підлягає сумніву.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, відповідають вимогам до такого виду досліджень. Обґрунтованість наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації, підтверджується вирішенням автором низки наукових завдань, що сприяло реалізації поставленої мети дослідження, відповідною побудовою структурно-логічної схеми дослідження, використанням літературних джерел за темою дисертації (список використаної літератури налічує 88 найменувань). відповідності дисертаційного дослідження паспорту наукової спеціальності 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи, достатньою апробацією отриманих результатів на науково-практичних конференціях.

Аналіз проблеми (розділ 1) показав, що основним завданням для розробки систем керування безредукторними електроприводами є збільшення діапазону регулювання швидкості при одночасному забезпеченні підвищеної статичної і динамічної точності.

Проведений розрахунок енергетичних показників торцевого дугостаторного асинхронного двигуна для електропривода антен РЛС (розділ 2) показав, що виконання магнітопроводу у вигляді замкненої конструкції дає змогу покращити енергетичні показники у порівнянні з розімкнутими магнітопроводами. Отримано функціональну залежність моменту навантаження на валу електропривода антени від трьох змінних: кута повороту антени, швидкості повітряного потоку і кутової швидкості обертання антени, що дозволило розробити пристрій для непрямого визначення моменту навантаження на валу антени РЛС та синтезувати систему керування швидкістю обертання антени РЛС, яка компенсує зміни моменту аеродинамічного навантаження за абсолютною величиною.

Розроблена математична модель та проведений синтез системи керування безредукторним електроприводом з електромеханічним диференціалом (розділ 3), яка має якісно нові властивості керування, що полягають у збільшенні діапазону регулювання швидкості як уверх, так і униз від номінальної, отриманні наднизьких швидкостей вихідного валу при близьких до номінальних швидкостях кожного з двигунів.

Аналіз статичних та динамічних режимів замкненої за швидкістю двоканальної САК електропривода з безредукторним електромеханічним диференціалом (розділ 4) показав, що похибка при відпрацюванні лінійно наростаючого задання швидкості зменшується до $0,2 \text{ c}^{-1}$, а при прикладенні номінального навантаження до 1 c^{-1} .

На підставі теоретичних досліджень та математичного моделювання розроблено практичні схеми для реалізації САК електроприводом обертання антени на основі дугостаторного асинхронного електродвигуна та конструкцію дослідного зразка електропривода з безредукторним електромеханічним диференціалом (розділ 5).

За результатами досліджень автором дисертації сформульовано 12 висновків.

3. Достовірність і новизна основних висновків та рекомендацій дисертаційної роботи

Достовірність і новизна загальних висновків дисертації базуються на результатах теоретичних і практичних досліджень, проведених автором, в цілому не викликають сумнівів, в достатній мірі апробовані та опубліковані в фахових виданнях. У висновках викладені найбільш суттєві наукові та практичні результати, які одержані здобувачем у роботі.

Автором запропоновано новий метод керування електроприводом шляхом непрямого визначення навантаження з використанням встановленої залежності моменту навантаження на валу електропривода антенного поста РЛС від швидкості повітряного потоку, кута повороту та швидкості обертання антени, яка дає можливість реалізувати пристрій непрямого вимірювання моменту аеродинамічного навантаження електропривода.

Розроблено метод підвищення стабільності і рівномірності руху робочих органів РЛС шляхом використання безредукторного електропривода з двоканальним керуванням, який забезпечує розширення діапазону регулювання швидкості уверх та вниз від номінальної.

Розроблена математична модель безредукторного електропривода та здійснений синтез двоканальної системи автоматичного керування швидкістю, яка забезпечує компенсацію кінематичної похибки при відпрацюванні лінійно-наростаючого задання швидкості.

Обґрунтована конструкція безредукторного електромеханічного диференціалу, що дало змогу реалізувати двоканальне керування без використання додаткових механічних передач.

4. Значимість для науки і практики

Наукова цінність дисертації С. І. Гаврилюка полягає у вирішенні наукового завдання створення систем автоматичного керування безредукторними електроприводами з аеродинамічним навантаженням, яке стохастично змінюється, з розширеним діапазоном регулювання швидкості та з покращеними показниками якості керування.

Основу теоретичних розробок складають:

- новий метод керування електроприводом з аеродинамічним навантаженням та компенсуючим зв'язком за збуренням шляхом непрямого визначення навантаження з використанням встановленої залежності моменту навантаження на валу електропривода антенного поста РЛС від швидкості повітряного потоку, кута повороту та швидкості обертання антени;
- метод підвищення стабільності і рівномірності руху робочих органів РЛС шляхом використання безредукторного електропривода з двоканальним керуванням;
- математична модель безредукторного електропривода;

- обґрунтовано можливість створення безредукторного електромеханічного диференціалу, що дало змогу реалізувати двоканальне керування без використання додаткових механічних передач.

Практична цінність роботи полягає в тому, що на базі теоретичних досліджень були запропоновані принципи технічної реалізації систем автоматичного керування безредукторними електроприводами з дугостаторними асинхронними двигунами для проектування електропривода суднової РЛС; розроблено і виготовлено стенд для дослідження статичних і динамічних режимів безредукторних асинхронних двигунів з можливістю подальших стендових випробувань безредукторного електропривода антенного поста РЛС у складі суднової навігаційної системи; розроблено конструкцію дослідного зразка електричної машини з безредукторним електромеханічним диференціалом.

5. Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, використаної літератури із 88 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг роботи становить 151 сторінок, у тому числі 110 сторінок основного тексту, 73 рисунків та 12 таблиць.

У *вступі* обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульоване наукове завдання, мета, об'єкт, предмет, задачі та методи досліджень. Визначені наукова новизна, практична значимість отриманих результатів, внесок автора та результати апробації роботи.

У *першому розділі* «Особливості керування безредукторними електроприводами в електромеханічних системах з аеродинамічним навантаженням» розглянуто та проаналізовано сучасний стан розвитку систем керування безредукторними електроприводами в електромеханічних системах з аеродинамічним навантаженням. Встановлено, що основним завданням для таких систем є збільшення діапазону регулювання швидкості при одночасному забезпеченні підвищеної статичної і динамічної точності. Обґрунтована доцільність розробки нових методів керування безредукторними електроприводами з аеродинамічним навантаженням, яке стохастично змінюється, з розширеним діапазоном регулювання швидкості та з покращеними динамічними показниками керування.

У *другому розділі* «Енергетичні характеристики асинхронних дугостаторних електродвигунів та синтез системи керування дугостаторним двигуном в електроприводі з аеродинамічним навантаженням» проведено розрахунок енергетичних показників торцевого дугостаторного асинхронного двигуна для електропривода антени РЛС. Було встановлено, що виконання магнітопроводу у вигляді замкненої конструкції дає змогу покращити ККД. Отримано функціональну залежність моменту навантаження на валу ЕП антени від кута повороту антени, швидкості повітряного потоку і кутової швидкості обертання антени, що дало змогу визначити момент навантаження на валу антени РЛС непрямим методом. Розроблено систему керування швидкістю обертання антени РЛС з пропорційно-інтегральним нечітким логічним контролером, яка забезпечує керування швидкістю обертання антени РЛС в секторному режимі, компенсує за абсолютною величиною зміни моменту аеродинамічного навантаження.

У *третьому розділі* «Математична модель, аналіз та синтез системи керування безредукторним електроприводом з електромеханічним диференціалом» розроблена математична модель та проведений синтез системи керування безредукторним електроприводом з електромеханічним диференціалом. За результатами моделювання в середовищі MATLAB Simulink отримані криві перехідних процесів швидкості та моменту на валу замкненого за швидкістю електропривода з безредукторним електромеханічним диференціалом при лінійному наростанні задання швидкостей.

У *четвертому розділі* «Метод двоканального керування безредукторними електроприводами з електромеханічним диференціалом» проведений аналіз статичних та динамічних режимів замкненої за швидкістю двоканальної САК електропривода з безредукторним електромеханічним диференціалом. Отримані криві перехідних процесів швидкості та моменту на валу замкненого за швидкістю двоканального електропривода при лінійному наростанні задання швидкості з подальшим прикладенням номінального навантаження показали, що САК компенсує кінематичну похибку електропривода.

У *п'ятому розділі* «Практична реалізація системи керування безредукторними електроприводами в електромеханічній системі з аеродинамічним навантаженням» розроблено практичні схеми для реалізації САК електроприводом обертання антени на основі дугостаторного асинхронного, електродвигуна та конструкцію дослідного зразка електропривода з безредукторним електромеханічним диференціалом.

У цілому структура, обсяг та оформлення дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, що висуваються до кандидатських дисертацій.

6. Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

1. Потребує обґрунтування вибір закону зміни напруги при частотному регулюванні $U/f = \text{const}$ (розділ 2.2, с. 59).
2. Не зрозуміло, як було отримане значення електромеханічної сталої часу (розділ 2.6, с. 72). Оскільки наведене значення електромеханічної сталої часу в 50 раз перевищує значення електромагнітної сталої часу, то електромагнітні перехідні процеси можна було б не розглядати при дослідженнях електропривода.
3. Потребує обґрунтування можливість застосовувана моделі лінеаризованого асинхронного двигуна, оскільки ця модель має певні обмеження (розділ 3.3, с.83).
4. У роботі дослідження виконувалися на математичних моделях, які не в повній мірі відображають процеси, які відбуваються в асинхронних електроприводах. Бажано було б провести експериментальні дослідження на реальному об'єкті (розділ 4).
5. Не проведено дослідження стійкості розробленої системи автоматичного керування (розділ 4).
6. Зауваження до розділу 1: передатна функція у деяких випадках названа «передаваальною» та «передаточною»; на рис. 1.6 зображені механічні характеристики електродвигуна, а не навантажувальні (с. 37).

Висловлені зауваження і побажання не применшують загальної високої оцінки рівня виконання дисертаційної роботи, її теоретичної цінності та практичної значущості.

7. Повнота публікацій матеріалі в досліджень

За темою дисертації опубліковано 13 наукових праць, зокрема, 8 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 – у виданні, яке включено до міжнародної наукометричної бази SCOPUS), 3 патенти на корисну модель України, 1 авторське право на науковий твір.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях та на наукових семінарах Інституту електродинаміки НАН України з проблеми «Наукові основи електроенергетики».

8. Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації

Структурна побудова, зміст, результати теоретичних та експериментальних досліджень, їх узагальнення та основні висновки, які наведені в авторефераті, відповідають і повністю відображають основні положення дисертації.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Гаврилюка Сергія Івановича «Системи автоматичного керування безредукторними асинхронними електроприводами з аеродинамічним навантаженням» є закінченою працею, в якій отримані нові наукові результати, що у сукупності вирішують завдання створення систем автоматичного керування безредукторними електроприводами з аеродинамічним навантаженням з розширеним діапазоном регулювання швидкості та з покращеними показниками якості керування. Проведені дослідження виконані на достатньо високому науковому рівні з використанням сучасного програмного забезпечення і методик дослідження електропривода та відрізняються новизною і мають практичну цінність.

Враховуючи актуальність теми, наукову новизну досліджень, значимість отриманих результатів для науки і практики, відповідність дисертаційної роботи вимогам Міністерства освіти і науки України, які ставляться до кандидатських дисертацій, вважаю, що ГАВРИЛЮК СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій Національного університету
біоресурсів та природокористування України

Підпис
Учений секретар

О.Ю. Синявський
Микола Тарайменко



Prof

О. Ю. Синявський

Барановська О.В.